

基于 AIS 数据挖掘的受限水域船舶动态领域研究

周田瑞, 邵哲平, 潘家财, 张智铭

(集美大学航海学院, 福建 厦门 361021)

[摘要] 为了研究船舶长度和速度对船舶领域的影响, 基于 AIS 数据, 建立受限水域内船舶动态领域模型。首先选取目标船舶, 统计每一时刻他船到目标船的距离和相对方位, 获得单船船位分布图, 然后根据船舶长度和速度对目标船进行分类, 对同一类型单船船位分布图进行叠加, 采用数理统计方法确定船舶领域的边界, 最终建立受限水域船舶动态领域模型。以舟山港螺头水道为例, 共挖掘出 15 种不同类型的船舶动态领域模型。结果表明: 船舶领域的长度随着船长, 船速的增加而增加, 当船舶长度相等时, 船舶速度越大, 船舶领域增加的幅度越大; 船舶领域长度与船舶长度的比值并非为定值, 而是随着船长, 船速的增加而递减, 船速越大, 递减的幅度越大。

[关键词] AIS 数据; 受限水域; 船舶领域; 船舶长度; 船舶速度

[中图分类号] U 661.33

Research on Dynamic of Ship Movements in Restricted Waters Based on Massive AIS Data

ZHOU Tianrui, SHAO Zheping, PAN Jiakai, ZHANG Zhiming

(Navigation College, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: Considering the influence of ship length and speed on the moving area of a ship, this paper establishes a model for the dynamic moving area of a ship in restricted waters based on AIS data. Firstly, the target ship is selected, with the distance and relative orientation between the surrounding ships and the target ship at each moment, a position distribution diagram is obtained for each ship. Then the target ship is classified based on length and speed of the ships, with the distribution diagrams for ships of same types superimposed, the boundaries of the moving areas for the ships are determined and finally, a model for the dynamic moving area of ships in restricted waters is established. Taking the Zhoushan Luotou water area as an example, 15 different types of such models have been discovered. The results show that the size of a ship moving area increases with the length and speed of the ship. When the length of ship is equal, the greater the speed, the greater the increase of the magnitude of the moving area. The ratio of ship moving area to the ship length is not fixed, but it decreases with the increase of ship length and speed. The greater the speed, the greater the decline of the magnitude.

Keywords: AIS data; dynamic ship moving area; restricted waters; ship length; ship speed

[收稿日期] 2017-10-15

[修回日期] 2017-12-23

[基金项目] 福建省自然科学基金资助项目(2015J01214); 福建省教育厅基金项目(B16095)

[作者简介] 周田瑞(1991—), 男, 硕士生, 从事交通信息工程及控制。通信作者: 潘家财(1975—), 男, 副教授, 博士, 从事交通信息工程及控制研究, E-mail: panjiacai@163.com。

0 引言

船舶领域一直以来被用于海上交通安全危险评判^[1]，也是中外学者研究的热点。Goodwin^[2]考虑国际海上避碰规则，构建了开阔水域的船舶领域，其模型由船舶左右舷以及后方部分的 3 个扇形组成，并提出目标船位于船舶领域模型中心的左下方；Pietrzykowski 等^[3]通过统计数据方式，建立了开阔水域的船舶领域。齐乐^[4]利用传统的 DCPA（distance to dosest point of approah）、TCPA（time to the closet point of approach），并结合模糊理论，建立了琼州海峡的船舶领域模型；丁法^[5]考虑到船舶类型和船舶尺度对船舶领域的影响，建立了成山头水域的船舶领域模型；周丹^[6]采用主成分回归算法和基于粗糙集的相关算法，确定了能见度良好时影响船舶领域因素的重要性。

以上船舶领域的研究水域都是在开阔水域，对受限水域的船舶领域研究较少。向哲等^[7]考虑了船舶尺度对船舶领域的影响，通过获取船舶网格频数图，建立了受限水域的船舶领域模型；席朝阳等^[8]通过借助可视化技术和网格技术，获得能见度不良情况下受限水域内船长 80 ~ 100 m 的船舶领域模型，但文献 [7] 和文献 [8] 都未考虑在受限水域内船舶速度对船舶领域的影响，而在受限水域内由于航道宽度、船舶性能等的影响，船舶长度和速度对船舶领域的尺度和形状影响很大^[9-11]。因此，为了准确建立受限水域的船舶领域，应考虑到船舶长度和速度对船舶领域的影响。

1 船位分布图算法设计

1.1 定义

受限水域中的船舶领域由处于该水域中的众多船舶之间的相对位置决定，该相对位置通过选取目标船，获取附近水域他船的分布情况。此外，为了更加准确计算该水域的船舶领域，使用上述方法时需要考虑船舶长度和航行船速。由于一艘船舶出现在该水域内的时间有限，其周围船舶的分布情况不完整，可以按照目标船的长度和船速大小进行分类，将同一类型的船位分布图进行叠加，从而获得特定类型的船位分布图。本文使用的术语如下：

- AIS 数据：接受船舶自动识别系统，包含连续时间内船舶的位置，航行状态和船舶尺寸等信息；
- 目标船：在受限水域内航行超过一段时间的船舶；
- 周围船：以目标船为中心，在其半径 3 n mile 以内的圆形区域的航行船舶；
- 单船叠加图：随时间变化，目标船周围船舶叠加情况；
- 多船叠加图：多条目标船的单船叠加图；
- 特定类型船舶叠加图：对选取的目标船按照船舶长度和速度大小进行分类，将同一类型的目标船周围船舶分布情况进行叠加，获得特定类型的船舶叠加图。

1.2 算法原理

对 AIS 数据信息进行预处理，选取目标船舶，计算每一时刻目标船舶周围船舶的相对距离和方位，得到单船叠加图，然后按照目标船的长度和船速范围进行分类，对同一类型的单船叠加图进行叠加，获得特定类型船位分布图。算法流程图见图 1。

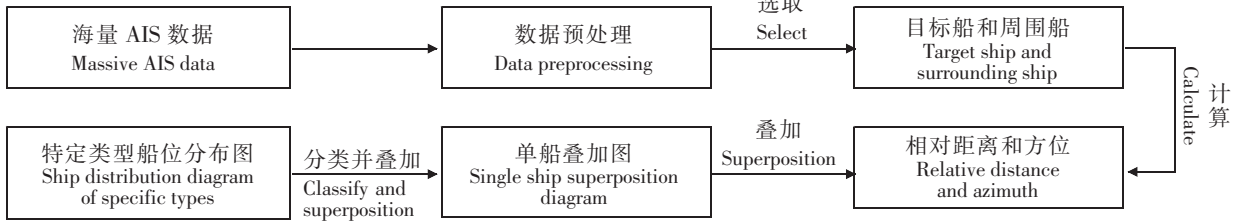


图 1 船位分布图算法流程

Fig.1 The algorithm flow of ship position distribution

2 船舶相对位置计算方法

船舶相对位置由相对距离和相对方位组成, 相对距离为他船到目标船的距离, 相对方位为他船相对目标船的方位, 即以目标船的船首向为基准, 顺时针旋转到他船与本船的连线的夹角。

2.1 目标船与周围船同步换算

由于 AIS 数据包含的船舶动态信息在时间上是离散的, 每艘船舶播发的 AIS 时间可能不一致, 因此在计算船间运动关系时需要将他船时刻的位置换算到本船时刻的位置。设船 A 和船 B 在研究区域内航行, 其 AIS 数据如图 2 所示, 在 0000、0006、0016 三个时刻接收到船 A 动态信息, 在 0005、0010 两个时刻接收到船 B 动态信息。由此可以求解出时刻 0005、0006、0010 两船间运动关系。

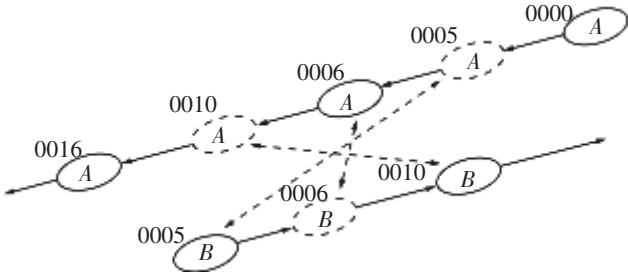


图 2 基于 AIS 数据的船间运动关系
Fig.2 The dynamic relationship between ships based on AIS

解算原理如下:

设 $t_0 = 0000$ 、 $t_1 = 0005$ 、 $t_2 = 0006$ 、 $t_3 = 0010$ 。船 B 在 t_1 时刻动态信息为: 坐标 $B_1(x_{B_1}, y_{B_1})$, 航速 V_{B_1} , 航向 C_{B_1} 。船 A 在 t_1 时刻前后最近可确定信息时刻为 t_0 和 t_2 。 t_0 时刻船 A 动态信息为: 坐标 $A_0(x_{A_0}, y_{A_0})$, 航速 V_{A_0} , 航向 C_{A_0} ; t_2 时刻船 A 动态信息为: 坐标 $A_2(x_{A_2}, y_{A_2})$, 航速 V_{A_2} , 航向 C_{A_2} 。设船 A 在 t_1 时刻动态信息为: 坐标 $A_1(x_{A_1}, y_{A_1})$, 航速 V_{A_1} , 航向 C_{A_1} 。在接收到船舶动态信息的两个时刻之间可发生改变的量有经纬度、航速和航向等, 由于在航船舶发射信息频率较高, 间隔时间内船舶转向幅度和船速变化较小, 因此用船位点连线方向代替船舶航向, 航速和船位近似为线性变化。在 t_1 时刻船 A 动态信息经纬度坐标以及航速可以根据式 (1) 和式 (2) 求解。

$$V_{A_1} = V_{A_0} + (V_{A_2} - V_{A_0})(t_1 - t_0)/(t_2 - t_0); \tag{1}$$

$$A_1 = A_0 + (V_{A_0} + V_{A_1})(t_1 - t_0)(A_2 - A_0)/((V_{A_0} + V_{A_2})(t_2 - t_0))。 \tag{2}$$

2.2 船舶间相对距离求取

设点 $A(\varphi_1, \lambda_1)$ 为目标船舶位; B 点 (φ_2, λ_2) 为他船舶位; φ_1 为目标船的纬度; λ_1 为目标船的经度; φ_2 为他船的纬度; λ_2 为他船的经度; HDG 为目标船的船首向。A、B 点的距离 r 可按球面三角公式进行计算, 即:

$$\cos S = \sin \varphi_1 \times \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \times \cos \varphi_2 \times \cos D_\lambda; \tag{3}$$

$$r = S \times 60。 \tag{4}$$

其中: S 为他船到目标船的距离; D_λ 为 A、B 两点的经差。

2.3 求取舷角 θ

他船相对目标船的方位可以根据式 (5) ~ 式 (7) 求得。

$$\tan C = \sin D_\lambda / (\cos \varphi_1 \times \tan \varphi_2 - \sin \varphi_1 \times \cos D_\lambda); \tag{5}$$

$$TB = TC + Q; \tag{6}$$

$$\begin{cases} Q = C - \text{HDG}, Q \geq 0; \\ \theta = 360 + Q, Q < 0。 \end{cases} \tag{7}$$

式中: TB 为他船的真方位, 也就是式 (5) 求取的 C (换算为圆周法之后的值); TC 为真航向, 也就是 AIS 数据库当中的船首向 (HDG); Q 取正值, 则他船在目标船的右舷, Q 取负值, 则他船在目标船的左舷; θ 表示他船与本船的相对方位 (换算为圆周法之后的值)。

3 舟山港螺头水道 AIS 数据分析

3.1 研究区域

舟山港南部海域的螺头水道是舟山南部水域船舶航道的重要组成部分, 航道宽 1.2 n mile, 航道

全长 8 n mile，其分布情况如图 3 所示。^[13]。首先筛选、剔除 AIS 数据中的不完整信息和错误信息数据之后，选取的研究区域为 29°55′.01N ~ 29°57′.94N, 121°59′.45E ~ 122°7′.18E，选取 2016 年 1 月，3 月，5 月这 3 个月该海区范围内的 AIS 数据作为研究数据，对 AIS 数据进行预处理之后，有 608 276 条 AIS 数据。

3.2 交通流分析

建立螺头水道水域的 SQL 数据库，对 AIS 信息进行统计分析，可知该水域的船舶种类分布、船舶长度分布以及船舶速度分布，如图 4 ~ 图 6 所示。

由图 4 ~ 图 6 可知，螺头水道航行的船舶以普通货船为主，占比为 58%；船舶长度 L 主要集中在 50 ~ 300 m 之间，占比接近 85%；船速主要介于 6 ~ 16 kn，占到 95% 以上。因此本文只研究船舶长度为 100 m 以下，100 ~ 200 m，200 ~ 300 m；船速为 6 ~ 8 kn，8 ~ 10 kn，10 ~ 12 kn，12 ~ 14 kn，14 ~ 16 kn，共 15 种类型的货船船舶领域模型。

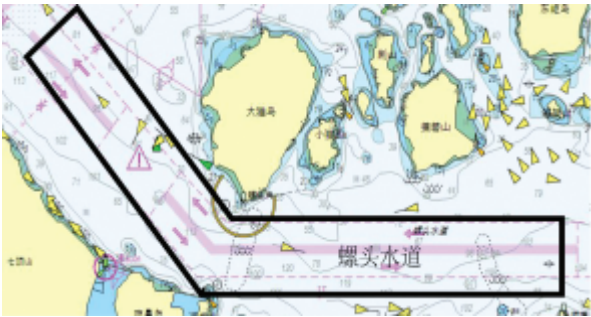


图 3 螺头水道分布

Fig.3 The distribution of luotou water area

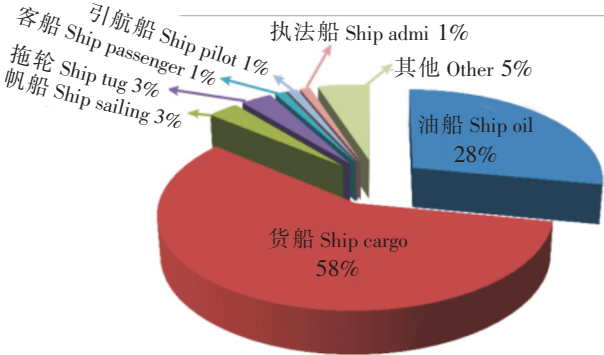


图 4 船舶种类分布

Fig.4 The distribution of ship type

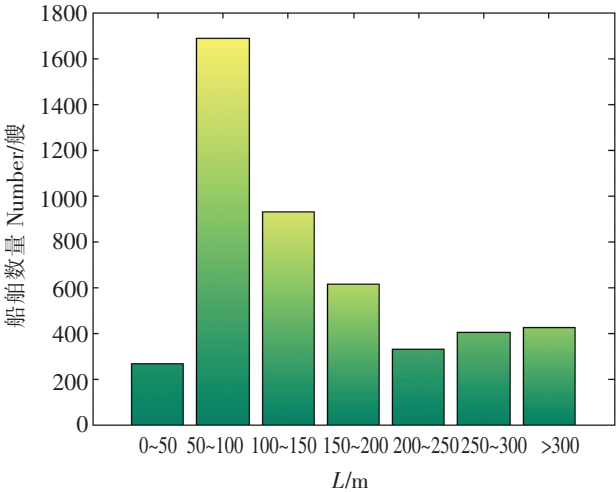


图 5 船舶长度分布

Fig.5 The distribution of ship length

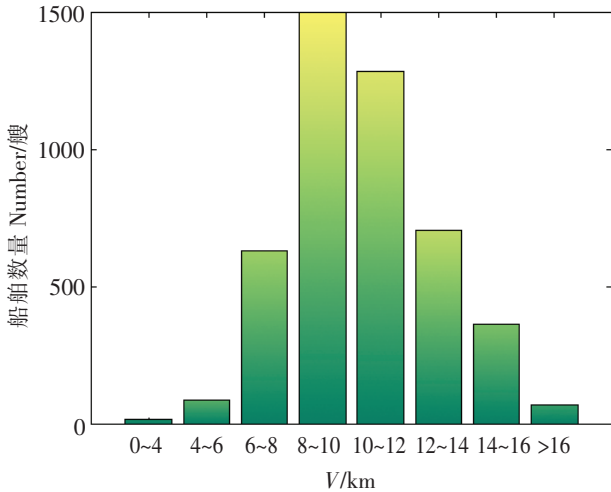


图 6 船舶速度分布

Fig.6 The distribution of ship speed

4 船舶领域

4.1 船舶领域边界的确定

采用文献 [12] “将某一比率船舶距离排除在外”的方法来确定领域边界。本文选取 95% 临界值作为案例进行研究，具体步骤是：首先得出目标船附近 3 n mile 区域的船舶叠加图，以目标船为中心，以船首向为纵轴建立坐标系，以 5° 为步长将目标船的坐标系均分为 72 个扇区，然后分别统计每一扇区的船舶点数并按他船距目标船距离大小排序，最后根据距离大小，找出每个扇区第 5% 的点作为临界点（如第一个扇区有 100 个船舶点数，按照距离大小进行排序，距离目标船最近的那个点为

第 1 个点, 则第 5 个点就是临界点), 然后利用 MATLAB 软件将这 72 个点采用最小二乘法拟合成椭圆, 其拟合公式^[13]为:

$$F = @ (p,x)p(1) * x(:,1).^2 + p(2) * x(:,1). * x(:,2) +$$
$$p(3) * x(:,2).^2 + p(4) * x(:,1) + p(5) * x(:,2) + p(6)。$$

(8)

4.2 船舶领域计算

为了研究方便, 选择船长 100 m 以下, 船速分别为 6 ~ 8 kn, 8 ~ 10 kn, 10 ~ 12 kn, 12 ~ 14 kn, 14 ~ 16 kn 共 5 档作为案例进行分析, 对于其他类型的船舶领域本文不再进行陈述。以目标船为中心, 船首向为 Y 轴正方向, 船舶右舷为 X 轴正方向建立坐标系, 采用 4.1 节的方法确定船舶领域的边界, 其船舶领域边界为图 7a ~ 图 7e 所示。其中长轴长分别为 0.54, 0.56, 0.65, 0.68, 0.79 n mile, 短轴长分别为 0.25, 0.27, 0.30, 0.31, 0.33 n mile, 可以得出船舶领域的长度随着船速的增加而增加。

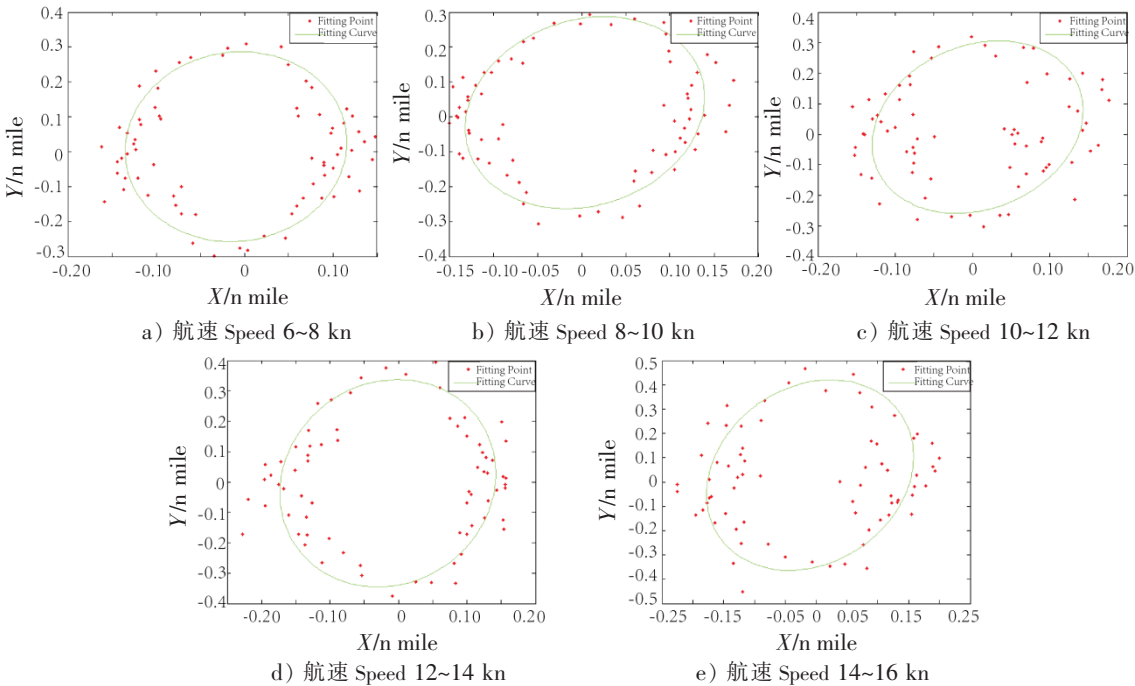


图 7 货船 100 m 以下的船舶领域

Fig.7 The ship domain of cargo ship below 100 meters

4.3 船舶领域长度与船舶长度, 船速之间的关系

图 8 是船舶领域长短轴长与船长和船速之间的关系, 可以得出船舶领域的长度与船长、船速呈正相关关系。领域的长度随着船长、船速的增加而增加, 当船舶长度相等时, 船舶速度越大, 船舶领域增加的幅度越大, 且在长轴上增加的幅度要大于短轴上增加的幅度。

4.4 船舶领域长度与船舶长度比值的变化规律

Fujii 等^[1]认为船舶领域为椭圆, 设船舶长度为 L , 长轴长为 $7L$, 追越时为 $8L$; 陈厚忠等^[14]将船舶分为进江船舶、顶推船队以及高速双体船, 其船舶领域长度分别为 $3L \sim 4L$ 、 $2L \sim 3L$ 、 $3L/2 \sim 2L$; Hensen^[15]认为船舶领域长度为 $8L$ 。船舶领域长度与船舶长度比值的结果为图 9, 传统的计算方

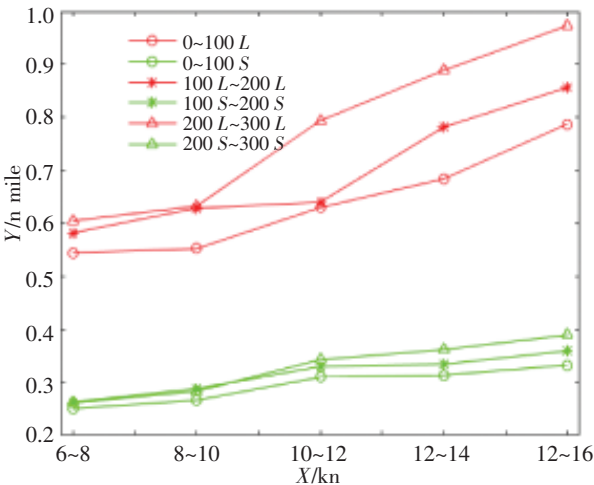


图 8 船舶领域长度与船舶长度, 船速之间的关系

Fig.8 The relationship between ship domain length and ship length and speed

法中船舶领域长度与船舶长度的比值均为定值,即船舶领域长度可描述为 nL (n 为常数)^[1,14-15],而本文中由于考虑了船舶长度和船速的影响,结果显示在受限水域内船舶领域长度与船舶长度的比值并非为定值,而是呈线性递减的规律,随着船舶长度、船速的增加而递减,当船舶速度相等时,船舶长度越大,船舶领域长度递减的幅度越大,并且在长轴方向上递减的幅度要大于短轴方向。

5 结语

本文的船舶领域研究是建立在海量 AIS 数据基础上的,考虑到在受限水域内船舶长度和速度对船舶领域的影响,以舟山港螺头水道为例,共挖掘出 15 种不同类型的船舶动态领域模型,结果表明,船舶领域的长度随着船长、船速的增加而增加,当船舶长度相等时,船舶速度越大,船舶领域增加的幅度越大;船舶领域长度与船舶长度的比值并非为定值,而是随着船长、船速的增加而递减,船速越大,递减的幅度越大。

本文仅讨论了船舶长度和速度对船舶领域的影响,船舶所处的航行环境以及人为因素的影响将是下一步要研究的方向。

[参 考 文 献]

- [1] FUJII Y, TANKA K. Traffic capacity [J]. Journal of navigation, 1974, 24(4): 543-552.
- [2] GOODWIN E M. A statistical study of ship domains [J]. Journal of Navigation, 1975, 28(3): 328-344.
- [3] PIETRZYKOWSK Z. Ship's fuzzy domain—a criterion for navigational safety assessment in an open sea area [J]. Journal of Navigation, 2009, 62(3): 93-108.
- [4] 齐乐. 基于 AIS 数据的船舶领域研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2012.
- [5] 丁法. 基于 AIS 数据的开阔水域船舶领域分析研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2016.
- [6] 周丹, 郑中义. 能见度良好时影响船舶领域的因素的重要性分析 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2017, 38(01): 20-24. [2017-10-12].
- [7] 向哲, 胡勤友, 施朝健, 等. 基于 AIS 数据的受限水域船舶领域计算方法 [J]. 交通运输工程学报, 2015, 15(5): 110-117.
- [8] 席朝阳, 金永兴, 胡勤友, 等. 能见度不良情况下受限水域船舶的领域 [J]. 上海海事大学学报, 2016, 37(3): 18-21 + 57. [2017-10-12].
- [9] 贾传荧. 拥挤水域内船舶领域的探讨 [J]. 大连海事大学学报, 1989, 15(4): 15-19.
- [10] GOODWELL T G. Marine traffic behaviour in restricted waters. [J]. Journal of Navigation, 1983, 28(3): 238-251.
- [11] WANG Y H. An Empirically-Calibrated Ship Domain as a Safety Criterion for Navigation in Confined Waters [J]. Journal of Navigation, 2016, 69(4): 257-276.
- [12] ERWIN VAN IPEREN. Detection of hazardous encounters at the north sea from AIS data [C] //Proceeding of the International Workshop on Next Generation of Nautical Traffic Model. [S. l.]: IWNTM 2012: 32-44.
- [13] 蒋轩. 舟山港域通航安全风险评价研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2015.
- [14] IPEREN E V. Detection of hazardous encounters at the North sea from AIS Data [J]. Journal of Navigation, 2012(1): 15-17.
- [15] 陈厚忠, 郭国平. 内河并列桥梁桥区水域船舶领域模型与通过能力研究 [J]. 船海工程, 2008, 37(5): 113-116.
- [16] HANSEN M G, JENSEN T K. Empirical ship domain based on AIS data [J]. Journal of Navigation, 2006, 59(3): 477-490.

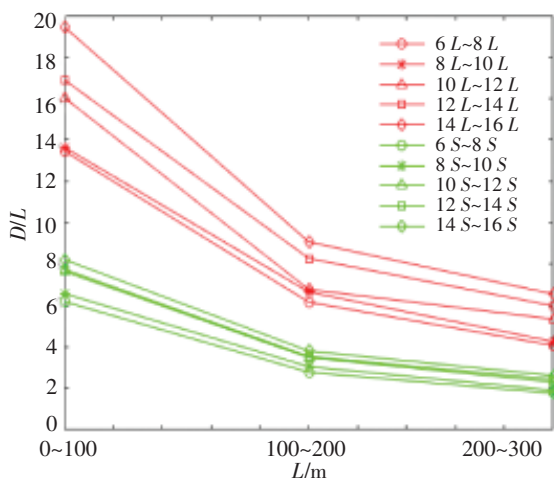


图 9 船舶领域长度与船舶长度比值的变化规律

Fig.9 The variation law of ratio of ship domain length to ship length